

Lecciones Aprendidas



De los participantes de Natural Gas STAR

FORRO COMPUESTO PARA REPARACIÓN DE DEFECTOS DE TUBERÍA QUE NO IMPLIQUEN FUGAS (Composite Wrap For Non-Leaking Pipeline Defects)

Resumen gerencial

El forro compuesto es una tecnología de reparación de tuberías que es permanente y económica, adecuada para los defectos que no impliquen fugas tales como picaduras, abolladuras, estrías y corrosión externa. El forrado compuesto puede llevarse a cabo en tuberías que están en operación sin tener que retirarlas de servicio. Esta técnica de reparación es rápida y generalmente menos costosa que otras opciones, y restaura permanentemente la capacidad de contención de la presión de la tubería cuando se instala correctamente.

El forro compuesto puede servir como alternativa a las prácticas tradicionales de reparación de tuberías como el reemplazo de la tubería o la instalación de mangas divididas de acero de envoltura completa. En comparación con estas prácticas tradicionales, las reparaciones con forro compuesto generalmente son más económicas, requieren menos tiempo y una mano de obra menos intensa. En el caso del reemplazo de una tubería, la reparación del forro compuesto tiene ventajas adicionales ya que evita las interrupciones de servicio al cliente y elimina las emisiones de metano asociadas con la ventilación de las tuberías dañadas.

Usar los forros compuestos como una alternativa al reemplazo de la tubería con frecuencia ahorra el suficiente gas como para recuperar el costo de la reparación de inmediato. Un participante de Natural Gas STAR informó haber realizado de 2 a 65 reparaciones con forros compuestos al año en tuberías de 10" o mayores, con un ahorro de 526 mil pies cúbicos (Mcf) a 27,500 Mcf en metano por cada reparación. Entre 1993 y 1999, este participante ahorró 106,133 Mcf al elegir los forros compuestos en lugar de reemplazar la tubería.

Método para reducir la pérdida de gas	Volumen de los ahorros de gas natural (Mcf)	Valor de los ahorros de gas natural ²	Costo de la ejecución ³	Período de recuperación de la inversión
Reparación con forro compuesto ¹	3,960	\$11,880	\$3,963	Inmediatamente

¹ Reparación de un defecto de 6" en una tubería de 24" de diámetro operada a 350 psig con 10 millas entre las válvulas de cierre.

² Supone un precio de gas natural de \$3.00/Mcf.

³ Incluye la mano de obra, el equipo y los materiales, y los costos indirectos. Observe que el costo del reemplazo de la tubería en este ejemplo es \$22,746, incluyendo los costos de purgado del gas (nitrógeno a \$4.00/Mcf). Vea el Cuadro 5 para obtener más detalles.

Antecedentes tecnológicos

Los defectos que no impliquen fugas en las tuberías como la corrosión, las abolladuras, las estrías, las picaduras y las grietas pueden causar ruptura de las tuberías. De acuerdo con el Departamento de Transporte (DOT) de Estados Unidos, existen tres métodos principales de reparación de defectos que no impliquen fugas en las tuberías de acero:

- ★ Cortar el segmento dañado y reemplazarlo con tubería nueva.
- ★ Instalar una manga dividida de acero de envoltura completa sobre el área dañada.
- ★ Instalar un forro compuesto sobre el área dañada.

Tanto el reemplazo de la tubería como la instalación de la manga de acero son costosos, prolongados y requieren una mano de obra intensa. El reemplazo de la tubería requiere que se cierre la porción afectada de la línea, lo que con frecuencia causa una interrupción de servicio. Después se purga el gas de la línea, el segmento dañado se corta y se suelda un nuevo segmento en su lugar. Las mangas de acero generalmente se usan para reparar tuberías con fugas o debilitadas sin tener que cerrarlas. Se excava la tubería dañada, se lava el exterior de la tubería y se coloca la manga dividida de acero en su lugar con pernos o mediante soldadura.

Usar el forro compuesto como medida alternativa al reemplazo de la tubería puede reducir los riesgos de seguridad, reducir el tiempo de desuso de la tubería, ahorrar gas que se ofrece a la venta y reducir las emisiones de metano a la atmósfera.

Los sistemas de forro compuesto permiten la reparación de la tubería sin tener que cerrar el flujo de gas, sin purgado ni cortes en la tubería.

Los sistemas de forro compuesto funcionan transfiriendo el esfuerzo tangencial del defecto a través de un material de relleno de alta resistencia a la compresión a un forro compuesto, el cual está envuelto alrededor y adherido a la tubería. Las mangas de forro

compuesto se consideran como reparaciones de envoltura completa Tipo A (vea el cuadro de texto).

Dos clases de mangas de envoltura completa

Tipo A: Las mangas de acero no se sueldan alrededor de la circunferencia a la tubería principal.

Tipo B: Las mangas de acero se sueldan alrededor de la circunferencia.

Diferentes forros compuestos

Hay una gran variedad de sistemas de forro compuesto disponibles. Los sistemas de forro compuesto usan materiales diferentes para los forros y los adhesivos, y algunos sistemas usan polímeros epóxicos y agentes de polimerización. Algunos ejemplos incluyen Clock Spring®, StrongBack, Armor Plate® y PermaWrap™.

Cada uno de ellos tiene ciertas ventajas:

- ★ Clock Spring® es un sistema de tres partes en el cual la manga está compuesta de fibras de vidrio y resina de poliéster.
- ★ El sistema StrongBack se activa con el agua, y puede aplicarse en superficies mojadas.
- ★ Armor Plate® produce una variedad de sistemas de forrado que pueden usarse en una amplia gama de condiciones incluyendo presión alta o baja, temperaturas altas o por debajo de cero grados, y bajo el agua.

- ★ PermaWrap™ (fabricado por WrapMaster, Inc.) tiene una característica para permitir la detección de un forro previo mediante un raspatubos inteligente, para que los operadores no tengan que descubrir segmentos de tubería que ya se han reparado.

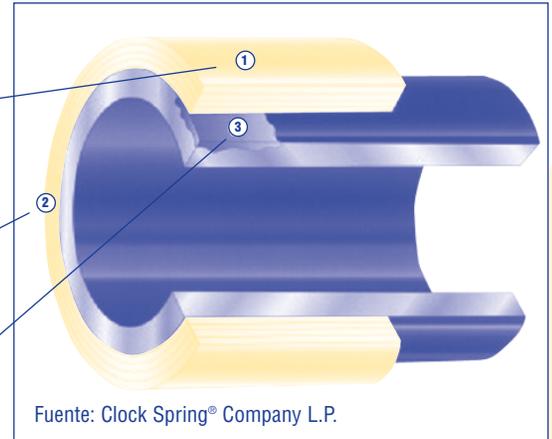
La mayoría de los fabricantes ofrecen videos de instalación, ayuda de capacitación y software de análisis de defectos de tubería. La tecnología de forros compuestos está avanzando con rapidez, y se exhorta a los participantes a que busquen el mejor sistema para sus necesidades una vez que decidan reparar una tubería que no tenga fugas usando un forro compuesto. Para obtener una lista parcial de fabricantes, vea la sección de Referencias al final de este estudio.

Reparación con Clock Spring®

Como se indica anteriormente, existen diversas variaciones de sistemas de reparación de forro compuesto. Uno que han usado durante muchos años varios participantes de Natural Gas STAR es el sistema Clock Spring®.¹ Esta sección tratará más en detalle los materiales, la técnica de instalación y las consideraciones especiales de este sistema.

El forro compuesto Clock Spring® consta de tres partes:

1. Una estructura de compuesto unidireccional de alta resistencia de fibras de vidrio y una base de polímero;
2. Un sistema adhesivo de dos partes, de alto rendimiento y curado rápido; y
3. Un compuesto de material de relleno de transferencia de carga y alta resistencia a la compresión.



La estructura del compuesto. Las capas del laminado del forro compuesto son de 0.062" nominales de espesor y tienen un contenido de fibras de vidrio que fluctúa de 60 a 70 por ciento por peso. Un forro cubrirá una longitud de un pie de tubería. El forro compuesto se envuelve 8 veces alrededor de la tubería creando un espesor de 1/2" de material de refuerzo. El largo de la tira espiral varía según el diámetro de cada tubería. El forro compuesto Clock Spring® está disponible para tuberías de 4" a 56" de diámetro.

¹Este estudio se concentra en el sistema Clock Spring® para poder simplificar el análisis económico que se describe más adelante en este documento. El Programa Natural Gas STAR no afirma que este sistema de forro compuesto sea mejor o peor que los demás que están disponibles en el mercado.

Adhesivo. El adhesivo de dos partes es un compuesto de metacrilato de metilo epóxico, el cual se usa para mantener la reparación en su lugar.

Transferencia de carga (material de relleno). En la reparación de tuberías, el forro compuesto funciona compartiendo la carga tangencial que sostiene la pared de la tubería. Esta carga se transfiere eficazmente al compuesto a través del material de relleno. El defecto externo se rellena con el material de relleno de alta resistencia a la compresión para evitar que la pared debilitada de la tubería siga cediendo. El material de relleno es un compuesto de metacrilato con una resistencia a la compresión superior a 800 psi.

Instalación. Es necesario recibir capacitación para garantizar la instalación correcta de un sistema de forro compuesto. En el sistema de forro compuesto Clock Spring®, el proceso de rehabilitación de la tubería incluye los pasos siguientes:

1. Rellenar el defecto externo con material de relleno.
2. Envolver ocho capas de forro compuesto alrededor del tubo con aplicación de adhesivo entre las capas.
3. Apretar la manga de forro compuesto al tubo con una correa de tensión.
4. Permitir que el adhesivo se cure por aproximadamente dos horas.
5. Recubrir la tubería reparada para evitar la corrosión o el daño por radiación ultravioleta (dependiendo de si la tubería está enterrada o no).
6. Volver a enterrar la tubería (si corresponde).

Una vez instalado, el material de relleno, el adhesivo y el compuesto se adhieren para formar una reparación permanente que según los cálculos del fabricante, durará por lo menos 50 años. En algunas situaciones, el proyecto entero, desde la excavación hasta volver a enterrar la tubería, puede realizarse en tan sólo 4 horas. Una cuadrilla de dos personas capacitadas puede realizar la instalación en hasta 30 minutos, excluyendo el tiempo de curado.

Existen varios puntos importantes que deben tomarse en cuenta cuando se instala el sistema Clock Spring®:

- ★ La temperatura máxima de operación para el sistema estándar Clock Spring® es 130°F en las peores condiciones de tierra completamente saturada.
- ★ Las temperaturas internas de gas de hasta 180°F pueden soportarse en una versión modificada del sistema Clock Spring®.
- ★ Si el sistema Clock Spring® se usa por encima de la tierra, es necesario ponerle un recubrimiento protector debido a la susceptibilidad del material a los rayos ultravioleta.

Beneficios económicos y para el medio ambiente

Proceso de decisión

- ★ Aunque la reparación de Clock Spring® puede realizarse con la tubería bajo presión completa, los fabricantes recomiendan que se reduzca la presión de la línea durante la reparación. Al reducir la presión se reduce el esfuerzo en el área del defecto durante la reparación. Ya que el área reparada se expande durante el represurizado, el esfuerzo tangencial se transfiere del acero al forro compuesto, lo cual causa una transferencia mayor de carga.
- ★ El forro debe sobresalir por lo menos 2" por cada lado del daño cuando se usa el sistema Clock Spring® para que se adhiera a la tubería principal. Por lo tanto, puede usarse una manga sencilla de 12" para reparar un defecto de hasta 8" de largo. Para reparar defectos de más de 8", se colocan múltiples mangas de forro compuesto adyacentes una a la otra para cubrir el largo del daño (puede quedar un espacio libre de 1/2" entre las uniones). En los Estados Unidos, pueden colocarse hasta 15 mangas de Clock Spring® lado a lado para reparar defectos de tuberías de 16" a 30" de diámetro con 800 a 900 psi.

El uso de los forros compuestos como alternativa al reemplazo de las tuberías puede rendir importantes beneficios económicos y ambientales:

- ★ Pueden evitarse los costos relacionados con garantizar el servicio sin interrupciones durante la reparación, como la instalación de desviaciones o líneas temporales de servicio.
- ★ No se ventila metano a la atmósfera. Usar los forros compuestos elimina la pérdida de ingreso causada por las pérdidas de metano.
- ★ Tienen una instalación más fácil y rápida sin necesidad de equipo especial ni mano de obra altamente calificada, como los soldadores. Una cuadrilla capacitada de dos personas puede instalar un forro compuesto en 30 minutos. El tiempo de curado es de 2 horas aproximadamente.
- ★ Se pueden realizar las reparaciones con la tubería bajo presión completa, aunque los vendedores recomiendan reducir la presión durante la reparación.

Usando los cinco pasos que se indican a continuación, los participantes pueden de terminar los ahorros de metano y los aspectos económicos que existen al elegir el forro compuesto en lugar de reemplazar la tubería. El análisis de costo del forro compuesto descrito en el Paso 2 también es útil para fines de comparación con las reparaciones de mangas de acero, si su empresa practica el uso de mangas.

Paso 1: Determinar la aplicación adecuada. Los defectos típicos que no implican fugas que son adecuados para realizar las reparaciones con forro compuesto incluyen las abolladuras, las estrías y la corrosión exterior. Los defectos de hasta el 80 por ciento de pérdida del espesor de la pared pueden repararse con un forro compuesto. No existen límites de presión en el uso del forro compuesto. El forro compuesto también puede usarse para reparar la corrosión interna de manera temporal. Si se elimina la fuente de corrosión, la reparación puede considerarse como permanente.

Cuando se considere el uso de forros compuestos, los factores importantes de decisión incluyen la profundidad y el largo de la pérdida o la deformación de pared, la resistencia a la deformación permanente, la profundidad del defecto, la longitud axial del defecto, el diámetro de la tubería, el espesor de la pared y la presión de operación de la tubería. Aunque se necesitan medidas detalladas de campo para tomar la decisión final de si los forros compuestos restaurarán la

tubería a las normas de la American Society of Mechanical Engineers (ASME), los programas de software como GRiWrap® pueden ser útiles para determinar lo adecuado del forro compuesto en determinados trabajos de reparación. El forro compuesto puede ser la elección ideal para los defectos sin fugas cuando la reparación se necesita de urgencia, debe realizarse con rapidez y no hay un suministro de gas de respaldo disponible.

Si se determina que no es adecuado realizar reparaciones con forros compuestos y que se hará el corte y reemplazo de la tubería, los participantes deben considerar otras técnicas recomendadas por el Programa Natural Gas STAR para reducir las emisiones de metano de las reparaciones que se realicen en la tubería. Vea el estudio de Lecciones Aprendidas *“Uso de técnicas de bombeo de vacío de tubería para bajar la presión de la línea de gas antes de darle mantenimiento”*.

Paso 2: Calcular el costo de la reparación con forro compuesto. El costo de la reparación con forro compuesto puede fluctuar considerablemente dependiendo de la longitud del defecto y del diámetro de la tubería. Los costos principales para la instalación de mangas de forro compuesto son los costos de la mano de obra, el equipo y materiales, y los costos indirectos como los permisos y los servicios de inspección. De acuerdo con los distribuidores que se consultaron para este estudio, una cuadrilla de dos personas puede instalar un forro compuesto de Clock Spring® en media hora. Como cálculo general, asigne 2½ horas por persona por cada forro compuesto (1/2 hora por instalación más las 2 horas de curado). Para obtener un cálculo más global de lo que tardará realizar la reparación, incluya el tiempo necesario para la excavación, la instalación del forro compuesto, el tiempo de curado del adhesivo, el tiempo de secado de las capas y el tiempo para volver a enterrar la tubería. Otro participante informa que usa aproximadamente 16 horas desde la excavación hasta el entierro de la tubería en las reparaciones de hasta 4 forros compuestos. Los cálculos también deben incluir los costos de los productos de consumo de la reparación (por ejemplo, el juego del forro compuesto y los recubrimientos) y los costos indirectos como los servicios de inspección y los permisos.

Los juegos de forros compuestos Clock Spring® contienen muchos de los artículos necesarios para realizar las reparaciones, incluyendo la manga, el adhesivo, el

Cinco pasos para evaluar la reparación con forro compuesto:

1. Determinar la aplicación adecuada;
2. Calcular el costo de la reparación con forro compuesto;
3. Calcular los ahorros de metano;
4. Calcular el costo del reemplazo de la tubería; y
5. Evaluar los aspectos económicos.

material de relleno, un aplicador de rodillo y brochas de aplicación. El costo puede fluctuar de \$432 por un juego de tubería de 4" a casi \$2,000 por un juego de tubería de 56". También tendrá que comprarse algún equipo adicional, como una correa y barra de cincho, y un alimentador de carrete. Sin embargo, este equipo puede usarse para múltiples reparaciones y el costo puede distribuirse a lo largo de la vida útil del equipo. Para obtener más información sobre los juegos de forros compuestos, consulte el apéndice.

Los juegos de otros fabricantes contendrán equipo diferente. Aunque este estudio no compara los aspectos económicos de todos los sistemas de forro compuesto que hay disponibles, el mercado es muy competitivo. El siguiente análisis del aspecto económico incorpora la información de costo provista por Clock Spring®. Se exhorta a los participantes a buscar el sistema de forro compuesto que cumpla mejor con sus necesidades, y a usar la metodología descrita en este estudio de Lecciones Aprendidas para realizar sus propios análisis de los aspectos económicos.

El Cuadro 1 muestra los costos más comunes de mano de obra y equipo usados para el cálculo del costo de una reparación con forro compuesto. Se excluyen los costos únicos de capacitación y compra de equipo reutilizable ya que se considera que será similar o menor que el costo equivalente de un proyecto de reemplazo de tubería.

Tenga en cuenta que estas tasas de mano de obra podrían no corresponder a todos los tipos de reparación con forros compuestos. Los participantes deben consultar con los fabricantes de forros compuestos antes de terminar los presupuestos de costo.

Cuadro 1: Cálculo del costo de instalación de un forro compuesto

Dada la siguiente información: Para reparar un defecto sin fuga de 6" en una tubería de 24", que opera a 350 psig, suponga que tomará 16 horas para terminar el proyecto¹ usando las siguientes categorías de mano de obra². Suponga que los costos para la administración y planificación de ingeniería serán el 25% de la mano de obra en el campo.

$C_{\text{mano de obra}}$ = costo de mano de obra

Tarifa por hora de categoría de mano de obra en el campo

Operador = \$34/hora

Instalador de tubería = \$31/hora

Aprendiz = \$21/hora

C_{equipo} = costo de equipo

Costo de equipo individual

Juego de forro compuesto = \$878 por 1 juego

Retroexcavadora = \$36/hora

Equipo de pulido con chorro de arena = \$10/hora

Recubrimientos de tubería (5% del juego de compuesto) = \$44

$C_{\text{indirectos}}$ = costos indirectos como cuadrilla de inspección de campo, permisos, etc. (Suponga el 50% del costo total de equipo y mano de obra³)

(1) Cálculo del costo de mano de obra

$C_{\text{mano de obra}}$ = Costo de administración de ingeniería + costo de mano de obra en el campo

Costo de mano de obra en el campo

= tarifa por hora * tiempo necesario para terminar el trabajo

= (\$34 + \$31 + \$21) * 16

= \$1,376

Costo de administración de ingeniería = 0.25 * \$1,376 = \$344

$C_{\text{mano de obra}}$ = \$344 + \$1,376 = \$1,720

(2) Cálculo del costo del equipo

C_{equipo} = Costo de materiales consumibles (juego de forro compuesto y

recubrimientos) + Costo del alquiler o uso del equipo en la obra

= \$878 + \$44 + (\$36 * 16) + (\$10 * 16)

= \$1,658

(3) Cálculo de los costos indirectos

$C_{\text{indirectos}}$ = Costo de permisos, servicios de inspección, gastos relacionados con el derecho de paso

= 0.5 * ($C_{\text{mano de obra}}$ + C_{equipo}) = 0.5 * (\$1,720 + \$1,658)

= \$1,689

(4) Cálculo del costo total de la reparación

Costo total de reparación = $C_{\text{mano de obra}}$ + C_{equipo} + $C_{\text{indirectos}}$

= \$1,720 + \$1,658 + \$1,689

= \$5,067

¹ Información provista por el participante.

² Quick, P. "Economics of Pipeline Repair", The Southern Gas Association Transmission Operating Conference, New Orleans, LA, julio de 2001.

³ Proviene de Boreman, David. J. et.al. "Repair Technologies for Gas Transmission Pipelines", Pipeline and Gas Journal, marzo de 2000.

Paso 3. Cálculo del ahorro de metano. La reparación con forro compuesto no se usa para solucionar las fugas activas de metano. La cantidad de gas que se ahorra es la cantidad de gas que se hubiera ventilado en caso de haberse llevado a cabo el reemplazo de la tubería. El reemplazo requiere que se cierre la tubería y se aisle la porción dañada del tubo con el uso de las válvulas de cierre. La distancia entre las válvulas de cierre se indica en los reglamentos del Departamento de Transporte (DOT) y puede ser hasta de 10 millas en lugares remotos. El gas metano que se aísla en el segmento de la tubería generalmente se ventila a la atmósfera.

Como se muestra en el Cuadro 2, el volumen de gas que se ahorrará al usar el forro compuesto en lugar de reemplazar la tubería puede calcularse con una fórmula sencilla que toma en cuenta la presión de la tubería, la longitud de la sección aislada y el área transversal.

Cuadro 2: Cálculo del ahorro de metano con la reparación de forro compuesto

Dada la siguiente información: Una compañía de tuberías realiza una reparación con forro compuesto en una tubería de 24", que opera a 350 psig, con 10 millas entre las válvulas de cierre.

D = Diámetro interno de la tubería (pulgadas)

L = Longitud de la tubería entre las válvulas de cierre (pies)

P = Presión de la tubería (psia para presión baja¹, psig para presión alta)

P_{metano} = Precio actual del metano en el mercado (\$3/Mcf)

V_{metano} = Volumen de las emisiones de metano

(1) Cálculo del volumen de emisiones de metano

Ahorros de metano con forro compuesto = Emisiones de metano que se evitan al no reemplazar la tubería

V_{metano} = Volumen de ahorros de metano con forro compuesto para líneas bajo presión

$$V_{metano} = \frac{[D^2 * P * \left(\frac{L}{1,000}\right) * 0.372]}{1,000}$$

$$= \frac{[24^2 * 350 * \left(\frac{52,800}{1,000}\right) * 0.372]}{1,000}$$

$$= 3,690 \text{ Mcf}$$

(2) Cálculo del valor de los ahorros de metano

$$\begin{aligned} \text{Valor de los ahorros de metano con forro compuesto} &= V_{metano} * P_{metano} \\ &= 3,960 \text{ Mcf} * \$3/\text{Mcf} \\ &= \$11,880 \end{aligned}$$

Fuente: Pipeline Rules of Thumb Handbook, 5° edición, 2002.

¹ La presión de una tubería de 50 psi o menor se considera presión baja.

Paso 4. Cálculo del costo de reemplazo de la tubería. Calcule el costo del reemplazo de la tubería. Los costos relacionados con el reemplazo de la tubería pueden agruparse en tres categorías:

- ★ Procedimientos de purgado.
- ★ Costos de mano de obra y equipo.
- ★ Gastos indirectos adicionales relacionados con el reemplazo de la tubería, tales como el costo de anunciar que se cerrará el servicio de gas, el volver a encender los pilotos de los clientes, los servicios de inspección y los permisos.

Después del reemplazo de la tubería, se tiene que purgar el segmento reparado antes de volverlo a poner en servicio, lo que requiere la compra y el uso de gases inertes, como el nitrógeno. El Cuadro 3 muestra cómo calcular los costos de los procedimientos de purgado, multiplicando el volumen de gas purgado necesario por el precio del gas.

Cuadro 3: Cálculo del costo del procedimiento de purgado para el reemplazo de la tubería

Dada la siguiente información: Suponga que una tubería de 24" opera a 350 psig, con válvulas de cierre a 10 millas de distancia.

D = Diámetro interno de la tubería (pulgadas)

L = Longitud de la tubería entre las válvulas de cierre (pies)

V_p = Volumen del segmento de la tubería

P_{pgas} = Precio actual del gas purgado en el mercado (\$/Mcf)

V_{pgas} = Volumen del gas purgado

(1) Cálculo del volumen del gas purgado

V_{pgas} = Volumen del gas purgado¹ que se usa durante el procedimiento de reemplazo de la tubería

$$= V_p * 1.2 \text{ (línea restaurada + 20\% de desecho)}$$

$$= \left(\frac{\pi * D^2 * L}{4 * 144 * 1,000} \right) * 1.2$$

$$= \left(\frac{3.14 * 24^2 * 52,800}{576 * 1,000} \right) * 1.2$$

(2) Cálculo del costo del gas purgado

$$\begin{aligned} \text{Costo del gas purgado} &= V_{pgas} * P_{pgas} \\ &= 199 \text{ Mcf} * \$4/\text{Mcf} \\ &= \$796^1 \end{aligned}$$

¹ Gas inerte como nitrógeno a \$4/Mcf.

El Cuadro 4 muestra cómo calcular los costos de mano de obra y equipo de un proyecto de reemplazo de tubería. Por lo general, el costo relacionado con el reemplazo de la tubería es usualmente mayor que el relacionado con una reparación con forro compuesto.

Cuadro 4: Cálculo del costo de mano de obra, equipo y costos indirectos del reemplazo de tuberías

Dada la siguiente información: Una compañía de tuberías ha detectado un defecto sin fugas de 6" en una tubería de 24" de diámetro que opera a 350 psig. Las válvulas de cierre están a 10 millas de distancia. Se reemplazarán 72" de tubería¹.

Suponga que será un trabajo² de 40 horas y las siguientes clases de mano de obra y equipo y tarifas por hora³. Suponga que los costos para la administración y planificación de ingeniería serán el 25% de la mano de obra en el campo.

Tarifa por hora para cada categoría de mano de obra

Soldador	= \$35/hora
Operador	= \$34/hora
Instalador de tubería	= \$31/hora
Aprendiz	= \$21/hora

Costo del equipo

Grúa/Camión con pluma	= \$36/hora
Equipo de soldadura	= \$20/hora
Retroexcavadora	= \$36/hora
Tubería de acero ⁴	= \$50/pie
Recubrimientos ⁵	= \$303

(1) Cálculo del costo de mano de obra

$$\begin{aligned} \text{Costo de mano de obra en el campo} &= (\$35 + \$34 + \$31 + \$21)/\text{hora} * 40 \text{ horas} \\ &= \$4,840 \\ \text{Costo de administración de ingeniería} &= 0.25 * \$4,840 = \$1,210 \\ \text{Costo total de mano de obra, } C_{\text{mano de obra}} &= \$4,840 + \$1,210 = \$6,050 \end{aligned}$$

(2) Cálculo del costo del equipo

$$\begin{aligned} \text{Costo total de equipo y materiales, } C_{\text{equipo}} \\ &= (\$36 + \$20 + \$36)/\text{hora} * 40 \text{ hora} + \$50/\text{pie} * 6 \text{ pies} + \$303 \\ &= \$4,283 \end{aligned}$$

(3) Cálculo de los costos indirectos

Costos indirectos = Costo de permisos, servicios de inspección, gastos relacionados con el derecho de paso⁶

$$\begin{aligned} C_{\text{indirectos}} &= (\text{Suponga el 40\% del costo total de equipo y mano de obra}) \\ &= 0.4 * (C_{\text{mano de obra}} + C_{\text{equipo}}) \\ &= \$4,133 \end{aligned}$$

(4) Cálculo del costo total

$$\begin{aligned} \text{Costo total} &= C_{\text{mano de obra}} + C_{\text{equipo}} + C_{\text{indirectos}} \\ &= \$14,466 \end{aligned}$$

¹ Reemplace por lo menos tres veces el diámetro del tubo. La información se basa en la información reportada por el participante.

² Tiempo requerido para reemplazar la tubería desde la excavación hasta terminar de enterrarla. Esto se basa en la información reportada por el participante. Suponga 1 semana de trabajo (5 días, 8 horas/día). Excluye horas extra.

³ Quick, P. "Economics of Pipeline Repair", The Southern Gas Association Transmission Operating Conference, New Orleans, LA, julio de 2001.

⁴ Supone \$50/pie. Información reportada por el participante.

⁵ Bases: Oil and Gas Journal, "Composite Wrap Approved for U.S. Gas-Pipeline Repairs", 9 de octubre de 1995. Fue tres veces el costo indicado para una manga dividida de 2 pies.

⁶ Proviene de Boreman, David. J. et.al. "Repair Technologies for Gas Transmission Pipelines", Pipeline and Gas Journal, marzo de 2000.

Paso 5: Evaluar los aspectos económicos. La comparación mostrada en el Cuadro 5 examina el costo de reemplazar un segmento de tubería dañada y el costo de reparar el defecto con un forro compuesto como dos opciones. En ambos casos, el defecto se encontró en una tubería de 24" que opera a 350 psig. La única diferencia es la longitud del defecto, en el primer caso, se trata de 6" de largo, y en el segundo es de 234" de largo. Estos dos ejemplos se seleccionaron debido a que el primero, un defecto corto, representa la reparación más típica, y el segundo, el defecto largo, representa una opción en donde el costo del forro compuesto sobrepasa el costo del reemplazo de la tubería.

La excavación del lugar y el volver a enterrar la tubería son actividades comunes en ambas opciones de reparación. Para simplificar el análisis, el costo de dichas actividades se supone que es igual y se excluye.

Los costos restantes de mano de obra y materiales son específicos en cada opción. El cuadro 5 indica los costos principales de cada reparación. Las grúas o los camiones con pluma son específicos en el reemplazo de tuberías y se incluyen en el análisis básico.

Una vez que el segmento reemplazado se alinee y suelde en su lugar, generalmente hay que esperar 24 horas para probarlo y garantizar que las soldaduras estén bien seguras. El análisis del Cuadro 5 supone que las pruebas se realizan durante el período especificado.

Este análisis muestra que la reparación con forro compuesto brinda ahorros significativos de metano, nitrógeno y mano de obra. El costo de los juegos de forro compuesto es bajo para la primera opción, ya que solamente se necesita un juego de reparación para el defecto de 6". En el caso del defecto de 6", el ahorro de metano por sí solo cubre el costo de la reparación con forro compuesto, y el período de recuperación de la inversión es inmediato.

Cuadro 5: Comparación de los aspectos económicos del reemplazo de la tubería y el forro compuesto

Dada la siguiente información: Una tubería de 24" de diámetro que opera a 350 psig¹ con 10 millas entre las válvulas de cierre.

	Defecto de 6"		Defecto de 234"	
	Reparación con forro compuesto	Reemplazo de la tubería	Reparación con forro compuesto	Reemplazo de la tubería
Pérdida de metano	0	3,960	0	3,960
Gas purgado (Mcf)	0	199	0	199
Número de juegos de forro compuesto	1	0	20 ²	0
Costo de las emisiones de metano ³	\$0	\$11,880	\$0	\$11,880
Costo del gas purgado ⁴	\$0	\$796	\$0	\$796
Mano de obra ⁵	\$1,720	\$4,350	\$3,440	\$6,525
Equipo y materiales ⁶	\$922	\$2,843	\$18,440	\$7,280
Costos indirectos	\$1,321	\$2,877	\$10,940	\$5,522
Costo total de la reparación	\$3,963	\$22,746	\$32,820	\$32,003
Opción más económica	X			X

¹ Equivalente a la presión reducida en donde se realizaría la reparación con forro compuesto.
² Se basa en el número de forros compuestos colocados lado a lado menos las 2" necesarias en cada extremo de la primera y última manga para adherir el forro compuesto a la tubería principal.
³ Supone que el metano cuesta \$3/Mcf.
⁴ Supone que el nitrógeno cuesta \$4/Mcf.
⁵ Reemplazo de la tubería: Supone 40 horas (sin horas extra) para terminar el proyecto de las 6", 60 horas (sin horas extra) para el proyecto de 234". Reparación con forro compuesto: Supone 16 horas para terminar el proyecto de 6" y 32 horas para terminar el proyecto de 234". Las tarifas de mano de obra como se muestran en los Cuadros 1 y 4. La mano de obra para el reemplazo de la tubería excluye al operador, ya que se supone que la función principal del operador será la excavación y volver a enterrar la tubería. No se hacen ajustes similares para las categorías de mano de obra para el forro compuesto.
⁶ Excluye el costo de la retroexcavadora y el equipo de pulido con chorro de arena mostrado en los Cuadros 1 y 4. Para el defecto de 234", se suponen 39 pies de tubería reemplazada (el doble de la longitud del defecto).

Para el caso del defecto de 234", se colocan juntos 20 juegos de forro compuesto y los costos de equipo suben aproximadamente 20 veces, sobre el caso del defecto corto, mientras que aumentan en un factor de 2.5 por el reemplazo de la tubería. Los ahorros de metano y los costos más bajos de mano de obra en la reparación de compuesto se compensan con los altos costos de materiales; esto causa que los costos sean más comparativos en ambas opciones de reparación.

Es importante notar que en algunas circunstancias (por ejemplo, ciertos defectos largos), el reemplazo de la tubería es la opción más económica, independientemente de la pérdida de gases. Sin embargo, algunos participantes de Natural Gas STAR han elegido el forro compuesto en lugar del reemplazo de tubería en estas circunstancias, resaltando que el costo no es el único factor que influencia la opción de

reparación seleccionada. Como indica el siguiente caso de estudio de un participante de Natural Gas STAR, la urgencia de la reparación, la disponibilidad de un suministro de respaldo de gas y la velocidad de la reparación influyen en la decisión final.

Experiencia de un participante con las reparaciones con forro compuesto

Un participante de Natural Gas STAR informó haber realizado más de 300 reparaciones con forro compuesto de defectos sin fugas en líneas de transmisión de más de 10" desde 1995. En una ocasión, el participante reparó un defecto de 20" en un tubo colocando juntas dos mangas de forro compuesto. Ya que la tubería dañada estaba cerca de un arroyo, el no tener que abrir la tubería (como hubiera sido en el caso de tener que reemplazar el segmento), se evitó la exposición de agua al interior de la tubería y todas las complicaciones relacionadas. Dos miembros capacitados del personal instalaron el forro compuesto y volvieron a enterrar la tubería en cuatro horas. La reparación completa, desde el excavado hasta volver a enterrarla, se realizó en dos días, y la línea nunca se retiró de servicio.

Para este participante, el costo con frecuencia es una consideración secundaria en la selección del forro compuesto en lugar del reemplazo de tubería. Las consideraciones principales incluyen:

- ★ ¿Puede realizarse la reparación sin tener que retirar de servicio la tubería? Esto es importante en zonas donde no hay una fuente de gas de respaldo.
- ★ ¿Con cuánta rapidez puede realizarse la reparación? La reparación con forro compuesto usualmente requiere dos días, mientras que el reemplazo de tuberías comúnmente tarda de cinco a siete días.
- ★ ¿Puede realizarse la reparación de manera segura? Los operadores siempre se preocupan cuando las reparaciones como el forro compuesto o las mangas de acero se llevan a cabo en la tubería "trabajando". Los forros compuestos no presentan problemas de seguridad adicionales en comparación con la reparación con mangas de acero.

La reparación con forro compuesto puede eliminar de manera económica las emisiones de metano relacionadas con la reparación de ciertos defectos sin fugas de las tuberías. Los participantes ofrecen las siguientes lecciones aprendidas:

Lecciones aprendidas

- ★ La reparación con forro compuesto puede usarse como reparación permanente de defectos que no impliquen fugas en las tuberías y reparación temporal de defectos causados por la corrosión interna.
- ★ La reparación con forro compuesto brinda ahorros de metano al eliminar la necesidad de tener que cerrar la tubería dañada y ventilar el metano a la atmósfera antes de repararla.
- ★ Los ahorros de metano pueden ser suficientes para cubrir el costo de la reparación con forro compuesto y brindar la recuperación de la inversión de inmediato.
- ★ El forro compuesto puede ser la elección ideal para los defectos sin fugas cuando la reparación se necesita de urgencia, debe realizarse con rapidez y no hay un suministro de gas de respaldo disponible.
- ★ Durante la reparación, la tubería generalmente puede operar a presiones de por lo menos la mitad de la presión completa, lo cual evita las interrupciones de servicio posibles, las pérdidas de ingresos y los costos del gas ventilado.
- ★ El peso ligero del material del forro compuesto hace relativamente fácil su instalación. Dos técnicos con poca habilidad pueden realizar la reparación en unas cuantas horas sin soldar, cortar ni usar equipo de manejo especial.

- ★ El forro compuesto elimina las demoras costosas de especificar y conseguir las mangas de metal o los segmentos de tubería para reparar la tubería.
- ★ El forro compuesto restaura la capacidad original de presión de la tubería y mejora su resistencia contra mayor deterioro estructural.
- ★ Las pruebas de los segmentos reparados con forro compuesto indican una protección continua catódica.
- ★ Muchas compañías ahora proveen sistemas de forro compuesto, cada una con sus propias ventajas, así que es importante buscar el adecuado.
- ★ Registre las reducciones de emisiones de metano obtenidas mediante este sistema e incluya las reducciones en los informes del Programa de Natural Gas STAR si la política anterior de su compañía era reemplazar las secciones de tubería dañada.

Nota: La información de costo provista en este documento se basa en cálculos para Estados Unidos. Los costos de equipo, mano de obra y el valor del gas variarán dependiendo del lugar, y podrían ser mayores o menores que en los Estados Unidos. La información sobre costo presentada en este documento solamente debe usarse como guía al determinar si las tecnologías y las prácticas son convenientes económicamente para sus operaciones.

Referencias

Armor Plate, Inc., <www.armorplateonline.com>.

ASME B31G, *Manual for Determining Remaining Strength of Corroded Pipelines: Supplement To B31 Code-Pressure Piping*, 1991.

Boreman, J. David, et al., *Repair Technologies for Gas Transmission Pipelines*, *Pipeline and Gas Journal*, marzo de 2000.

Columbia Gas Transmission and Columbia Gulf Transmission, contacto personal.

EPA Partnership, *Columbia Energy Reports Significant Reduction in Methane Emissions*, noviembre de 2000.

Furrow, M. L., Departamento de Transporte de los Estados Unidos, contacto personal.

Gas Research Institute, *Summary of Validation of Clock Spring® for Permanent Repair of Pipeline Corrosion Defects*, GRI-98/0227.

Leewis, Dr. Keith, Gas Technology Institute, contacto personal.

McAllister, E.W., *Pipeline Rules of Thumb Handbook*, 5° Edition, 2002.

Mohitpour, M. et al., *Pipeline Rehab Responding to Regulatory Pressures, Technological Advances*, Oil and Gas Journal, 20 de enero de 2003.

Oil and Gas Journal, *Composite Wrap Approved for U.S. Gas-Pipeline Repairs*, 9 de octubre de 1995.

Quick, Porter, *Economics of Pipeline Repair*, The Southern Gas Association Transmission Operating Conference, New Orleans, Louisiana, julio de 2001.

The Clock Spring® Company L.P., <www.clockspring.com>.

The StrongBack Corporation, <www.strongbackcorp.com>.

Tingley, Kevin, U.S. EPA Natural Gas STAR Program, contacto personal.

Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos. *Lecciones Aprendidas: Uso de técnicas de evacuación de tubería para reducir la presión de gas de la línea antes del mantenimiento. (Using Pipeline Pump-Down Techniques to Lower Gas Line Pressure Before Maintenance)* (EPA430-B00-007, diciembre de 2000).

WrapMaster, Inc., <www.wrapm.com>.

Apéndice

Productos de tubería de forro compuesto Clock Spring	
Tamaño de la tubería	Costo del juego de forro compuesto (2001)
4"	\$432
6"	\$402
8"	\$466
10"	\$508
12"	\$549
14"	\$599
16"	\$649
18"	\$717
20"	\$794
22"	\$859
24"	\$878
26"	\$924
28"	\$969
30"	\$998
32"	\$1,051
36"	\$1,129
40"	\$1,331
42"	\$1,386
44"	\$1,488
48"	\$1,668
56"	\$1,951

Contenido del juego de forro compuesto

- Manga de forro compuesto (12" ancho * 1/2" espesor cuando se instala)
- Adhesivo
- Material de relleno de transferencia de carga
- Aplicador en rodillo
- Almohadilla inicial de adhesivo por ambos lados
- Bloques de alineación
- Brochas de aplicación, protectores de bandeja de pintar, varilla de mezclado, mezcladora Jiffy, bolsas de basura
- Base opcional especialmente diseñada para la instalación

Fuente: The Clock Spring® Company L.P. Clock Spring® es una marca registrada de NCF Industries Inc. Todos los derechos reservados. Fabricado bajo la licencia de NCF Industries Inc. El símbolo de Clock Spring es una marca registrada de Clock Spring Company L.P.

Equipo misceláneo que se compra una vez (no se incluye en el costo del juego)

Barra y correa de cincho estándar	\$150
Barra y correa de cincho H.D.	\$225
Correas de cincho	\$25
Alimentador de carrete	\$350
Manómetro de temperatura con base magnética	\$32.50
Probador de dureza de tierra Shore "A"	\$350
Barra y correa completa de cincho	\$150
Capacitación – Excluyendo los gastos de viaje	\$750



Agencia de Protección del Medio
Ambiente de los Estados Unidos
Aire y Radiación (6202J)
1200 Pennsylvania Ave., NW
Washington, DC 20460

EPA430-B-03-017S
Julio de 2003